

Japanese Unexamined Patent Application Publication No. Hei 03-78269
(Translation of the relevant sections: Page 2, col. 4, line 3 to page 3, col. 3,
line 1)

[Means to solve the problem]

The present invention has a continuous oscillating laser device oscillating single longitudinal mode light, a pulse oscillating laser device exciting pulsed light, a fine adjusting body adjusting resonator length of said pulse oscillating laser device, a driving means driving said fine adjusting body, a beam splitter infusing the continuous laser light which is emitted from said continuous oscillating laser device, to the intracavity of an optical axis of said pulse oscillating laser device, a sensor detecting laser beam passing the resonator of said pulse laser beam oscillating laser device, laser power calculating means calculating the laser power outputted from the sensor, a data storage means storing references from information of said resonator length, the power information of continuous laser light of said sensor, and information of the longitudinal mode of the pulse laser beam which is emitted from said pulse oscillating laser device, a resonator length correction value calculating means calculating the corrected value of said resonator length which is in the abbreviation par where the pulse laser light which is emitted from said pulse oscillating laser device becomes single longitudinal mode based on the laser power calculated by said laser power calculating means and the information stored in said data storing means, with the characteristics of the driving means activating said fine adjusting body by setting this correction value of said resonator length as a command for correction.

[Effect]

In the present invention, it is able to adjust the pulse oscillating laser device resonator length easily and automatically by calculating the corrected value of said resonator length which is in the middle of the area where the pulse laser light, emitted from said pulse oscillating laser device, becomes single longitudinal mode, based on the references of the information of the laser power, the information stored in the resonator length, power information of the continuous laser light of the sensor, and the information of the reference resonator length of the information in the longitudinal mode of pulse laser light which is emitted from said pulse oscillating laser device.

[Preferred Embodiments of the Invention]

Fig. 1 shows the first embodiment of the present invention. In the description below, the explanations in parts having the same elements as Fig. 23 are abbreviated by designating the same reference symbols as Fig. 23. Here, the laser power calculation means 12 calculates the laser power based on the output signal of sensor 11, and provides the result to the laser control device 100. The laser control device 100 is composed of a data storing device 14 which stores references of information of the resonator length, power information of continuous laser light at sensor position and the information of a longitudinal mode of a pulse laser light emitted from a pulse light oscillating laser device, and a resonator length correction value calculating means 13 which calculates the corrected value of said resonator length, based on memory information mentioned above and the laser light information of the laser power calculating means 12. The resonator length correction value calculated here is added to driving means 21, and the driving means 21 drives the fine adjusting body 22 which fine adjusts the position of the light reflection body such as rear mirror. Note that the portion wedged between the output mirror 4 and the light reflection body 6 is called the resonator of the pulse oscillating laser device.

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-78269

⑬ Int. Cl.³

H 01 S 3/105
3/139

識別記号

庁内整理番号

7630-5F
7630-5F

⑭ 公開 平成3年(1991)4月3日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全17頁)

⑮ 発明の名称 レーザ装置

⑯ 特 願 平1-214445

⑰ 出 願 平1(1989)8月21日

⑱ 発 明 者 松 富 章 吉 東京都府中市東芝町1 株式会社東芝府中工場内

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

⑳ 代 理 人 弁理士 佐藤 一雄 外3名

明 細 書

1. 発明の名称

レーザ装置

2. 特許請求の範囲

単一縦モード光を発振する連続光発振レーザ装置と、パルス光を励起するパルス光発振レーザ装置と、このパルス光発振レーザ装置の共振器長を微調整する微調整機構と、この微調整機構を駆動する駆動手段と、前記連続光発振レーザ装置より放出される連続レーザ光を前記パルス光発振レーザ装置の共振器内光軸に注入するビームスプリッタと、前記パルス光発振レーザ装置の共振器を通過するレーザ光を検知するセンサと、このセンサの出力よりレーザ光パワーを算出するレーザ光パワー算出手段と、前記共振器長の情報、前記センサの連続レーザ光のパワー情報、および前記パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光の縦モードの情報の関係を記憶するデータ記憶

手段と、前記レーザ光パワー算出手段で算出されたレーザ光パワーと前記データ記憶手段に記憶された情報とに基づいて前記パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光が単一縦モードになる領域の略中間になる前記共振器長の補正値を算出する共振器長補正値算出手段とを備え、この共振器長補正値を補正指令として、前記駆動手段が前記微調整機構を作動させることを特徴とするレーザ装置。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の目的〕

〔産業上の利用分野〕

この発明は、インジェクションロック方式のレーザ装置に関するものである。

〔従来の技術〕

パルス光発振レーザ装置の出力パルス光を単一振動数の発振モードとするために、パルス光発振レーザ装置の共振器内の光軸に、単一縦モードの連続レーザ光（以下CW光と称す）を注入する

わゆるインジェクションロック方式がある。このインジェクションロック方式は、出力は小さくてよいが、単一縦モードの光（きれいなレーザ光）を注入することにより、注入された側のレーザ発振装置に対しても単一縦モード発振を促すようにしたものである。

第23図はこのインジェクションロック方式を採用した従来のレーザ装置の概略構成図である。同図において、連続光発振レーザ装置1からは常時、単一縦モードのCW光が放射されている。このCW光の一部は透過し、残りはビームスプリッタ5で反射する。そして、反射分はパルス光発振レーザ装置2の光軸上に受ける。この状態でパルス光発振レーザ装置放電部3にパルス状の高電圧をかけてパルス放電を起こさせると、レーザ光の発振現象が起こり、出力ミラー4からパルスレーザ光が放射される。

ところで、このインジェクションロック方式で単一縦モードのパルス光を得るために最も重要な条件の一つは、パルス光発振レーザ装置2の共振

器長、すなわち、出力ミラー4とリアミラー7との間の距離を半波長の整数倍にすることである。

これを数式で表すと次ようになる。

$$L = n \cdot \lambda / 2 \quad \dots (1)$$

ただし

L : 共振器長

λ : 波長

n : 整数

である。

このように、共振器長Lを半波長の整数倍とするために、リアミラー7（または出力ミラー4）に、ピエゾ制御装置23によって駆動されるピエゾ素子24を取付けて共振器長の調節ができるようにしてある。この調節に際して、CW光が最も強く干渉している状態にするのが一般的である。

そのために、ビームスプリッタ5の後方にセンサ11を設ける共に、その出力からレーザ光パワーを算出するパワーメータ15を設けている。

この場合、ビームスプリッタ5を透過した光と、ビームスプリッタ5で反射して共振器内に入射し、

共振器内で往復を繰り返し再びビームスプリッタ5で反射した光との干渉状態によりセンサ11で検出されるCW光が変化する。

従って、オペレータはパワーメータ15で算出された出力を観察しながらピエゾ制御装置23を何回も手動操作し、最も強く干渉する位置にピエゾ素子24を動かすという方法をとっていた。

（発明が解決しようとする課題）

上述した従来のレーザ装置では、CW光のパワー測定結果を監視しながら人手によってピエゾ素子を動かさなければならず、調整に多くの時間を必要とした。

また、単一縦モードになるように調整しても、熱や外部からの振動等によって数十秒間に共振器長が変化し、複数の振動数や、多重縦モードへと推移してしまうのが常であり、その度毎に調整が必要となることからオペレータの負担も大きかった。

この発明は上記の問題点を解決するためになされたもので、共振器長を容易に、しかも、自動的

に調節することのできるレーザ制御装置を得ることを目的とする。

（発明の構成）

（課題を解決するための手段）

この発明は、単一縦モード光を発振する連続光発振レーザ装置と、パルス光を励起するパルス光発振レーザ装置と、このパルス光発振レーザ装置の共振器長を微調整する微調整機構と、この微調整機構を駆動する駆動手段と、前記連続光発振レーザ装置より放出される連続レーザ光を前記パルス光発振レーザ装置の共振器内光軸に注入するビームスプリッタと、前記パルス光発振レーザ装置の共振器を通過するレーザ光を検知するセンサと、このセンサの出力よりレーザ光パワーを算出するレーザ光パワー算出手段と、前記共振器長の情報、前記センサの連続レーザ光のパワー情報、および前記パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光の縦モードの情報の関係を記憶するデータ記憶手段と、前記レーザ光パワー算出手段で算出されたレーザ光パワーと前記データ記憶手段

に記憶された情報とに基づいて前記パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光が単一縦モードになる領域の略中間になる前記共振器長の補正値を算出する共振器長補正値算出手段とを備え、この共振器長補正値を補正指令として、前記駆動手段が前記微調整機構を作動させることを特徴とするものである。

(作 用)

この発明においては、算出されたレーザ光パワーの情報と、記憶された共振器長の情報、センサの連続レーザ光のパワー情報、および前記パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光の縦モードの情報の関係共振器長の情報の関係とに基づき、パルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光が単一縦モードになる領域の略中間になる前記共振器長の補正値を算出し、この共振器長補正値を補正指令として、共振器長微調整する微調整機構を作動させるようにしたので、パルス光発振レーザ装置の共振器長を容易に、しかも、自動的に調整することができる。

振レーザ装置2の共振器と呼ばれる。

上記のように構成された本実施例の動作を以下に説明する。

連続光発振レーザ装置1より出力されたCW光は光軸30bに沿って直進し、ビームスプリッタ5に入射する。このCW光の一部はビームスプリッタ5で反射して光軸30aに沿って光反射機構6の方向に直進し、残りはビームスプリッタ5を透過してセンサ11に到達する。光反射機構6に入射したCW光は全反射して光軸30aに沿って直進し、再びビームスプリッタ5に入射する。このようにしてビームスプリッタ5に入射したCW光の一部は反射して連続光発振レーザ装置1の方向に進み、残りはビームスプリッタ5を透過して出力ミラー4に向かう。さらに、この出力ミラー4に入射したCW光の一部は透過してパルス光発振レーザ装置2の外にでるが、残りは反射してビームスプリッタ5に向かう。また、このビームスプリッタ5に向かうCW光の一部は反射してセンサ11に入射するが、残りはビームスプリッタ5

(実施例)

第1図はこの発明の一実施例を示すブロック図である。図中、第23図と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。ここでは、センサ11の出力信号に基づいてレーザ光パワー算出手段12がレーザ光パワーを算出し、その結果をレーザ制御装置100に与えるようになっている。このレーザ制御装置100は、共振器長の情報、センサ位置での連続レーザ光のパワー情報、およびパルス光発振レーザ装置より放出されるパルスレーザ光の縦モードの情報の関係を記憶するデータ記憶装置14と、これらの記憶情報およびレーザ光パワー算出手段12のレーザ光パワー情報とに基づいて、共振器長の補正値を算出する共振器長補正値算出手段13とで構成されている。ここで算出された共振器長補正値は駆動手段21に加えられ、この駆動手段21がリアミラー等の光反射機構6の位置を微調整する微調整機構22を駆動するようになっている。なお、出力ミラー4と光反射機構6とに挟まれる部分はパルス光発

を透過する。共振器内を往復するCW光は以上の動作を繰返すことになる。

この結果、センサ11には、最初にビームスプリッタ5を透過した光と、共振器を n ($n=1, 2, 3, \dots$) 往復した光とが入射し、これらが相互に干渉し合う。この干渉の結果、センサ11に入射するCW光パワーはどのようなものになるかを数式を用いて説明する。

光反射機構6としてリアミラー7を用いたとし、このリアミラー7、ビームスプリッタ5および出力ミラー4で構成される共振器をモデル化すると第2図のようになる。

ここで、連続光発振レーザ装置1からのCW光31は、ビームスプリッタ5に当たり、その一部は透過して出射光Pとなり、残りは反射してリアミラー7と出力ミラー4の間を往復し、その都度ビームスプリッタ5で反射して反射光 E_1, E_2, E_3, \dots が連続光発振レーザ装置1に向かい、反射光 T_1, T_2, T_3, \dots がセンサ11に向かう。

今、共振器長を L 、CW光の波長を λ とすると、

CW光が共振器内を1往復する時に生じる光路差
 Δ および位相差 δ は次のようになる。

$$\Delta = 2L \quad \dots (2)$$

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{4\pi L}{\lambda} \quad \dots (3)$$

連続光発振レーザ装置1から出力したCW光の
 複素数表現である複素振幅をAとし、以下のよう
 なパラメータを考える。

r : ビームスプリッタの振幅反射率

t : ビームスプリッタの振幅透過率

r_1 : リアミラーの振幅反射率

r_2 : 出力ミラーの振幅反射率

t_2 : 出力ミラーの振幅透過率

第2図において、センサ11方向に直進する光
 は P, T_1, T_2, T_3, \dots であるからこれらの
 CW光の複素振幅およびその和の複素振幅 A_t は
 次のようになる。ただし、ビームスプリッタの裏
 面で反射時のみ振幅は反転するものとする(使用
 するミラーやビームスプリッタの材質によりこの
 仮定は変化する)。

Pの複素振幅 $t \cdot A$

T_1 の複素振幅 $r r_1 t r_2 (-r) A \cdot e^{i\delta} - r^2 t r_1 r_2 A \cdot e^{i\delta}$

T_2 の複素振幅 $r r_1 t r_2 t r_1 t r_2 (-r) \cdot A e^{2i\delta} - r^2 t^3 (r_1 r_2)^2 A \cdot e^{2i\delta}$

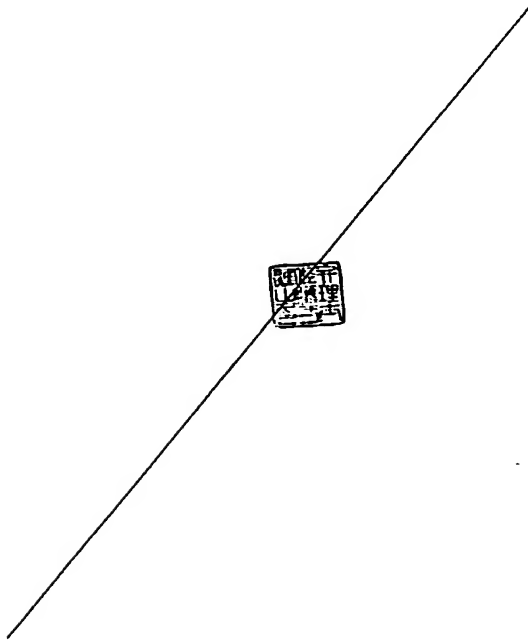
\vdots

T_n の複素振幅 $-r^2 t^{2n-1} (r_1 r_2)^n A \cdot e^{ni\delta}$

ただし、 i は虚数単位である。

$$\begin{aligned} A_t &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ t A - (r^2 t r_1 r_2 A \cdot e^{i\delta} + \dots + r^2 t^{2n-1} (r_1 r_2)^n A \cdot e^{ni\delta}) \right\} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ t A - (r^2 t r_1 r_2 A \cdot e^{i\delta} \cdot \frac{1 - t^{2n} (r_1 r_2)^n e^{ni\delta}}{1 - t^2 r_1 r_2 e^{i\delta}}) \right\} \\ &= t A - \frac{r^2 t r_1 r_2 A e^{i\delta}}{1 - t^2 r_1 r_2 e^{i\delta}} \\ &= \frac{t A (1 - r_1 r_2 (r^2 + t^2) e^{i\delta})}{1 - t^2 r_1 r_2 e^{i\delta}} \quad \dots (4) \end{aligned}$$

今、 A_t^* を A_t の共役複素振幅と仮定すれば、
センサ方向に直進する光パワー I_t は次式のように
なる。



$$I_t = A_t \cdot A_t^*$$

$$= AA^* t^2 \cdot \frac{(1 - r_1 r_2 (r^2 + t^2) e^{i\delta}) (1 - r_1 r_2 (r^2 + t^2) e^{-i\delta})}{(1 - t^2 r_1 r_2 e^{i\delta}) (1 - t^2 r_1 r_2 e^{-i\delta})}$$

$$= AA^* t^2 \cdot \frac{1 + |r_1 r_2 (r^2 + t^2)|^2 - r_1 r_2 (r^2 + t^2) (e^{i\delta} + e^{-i\delta})}{1 + (t^2 r_1 r_2)^2 - t^2 r_1 r_2 (e^{i\delta} + e^{-i\delta})}$$

$$= AA^* t^2 \cdot \frac{1 + |r_1 r_2 (r^2 + t^2)|^2 - r_1 r_2 (r^2 + t^2) \cdot 2 \cos \delta}{1 + (t^2 r_1 r_2)^2 - t^2 r_1 r_2 \cdot 2 \cos \delta}$$

$$= AA^* t^2 \cdot \frac{|1 - r_1 r_2 (r^2 + t^2)|^2 + 2 r_1 r_2 (r^2 + t^2) (1 - \cos \delta)}{(1 - t^2 r_1 r_2)^2 + 2 t^2 r_1 r_2 (1 - \cos \delta)}$$

$$= AA^* t^2 \cdot \frac{|1 - r_1 r_2 (r^2 - t^2)|^2 + 4 r_1 r_2 (r^2 - t^2) \sin^2 \delta / 2}{(1 - t^2 r_1 r_2)^2 + 4 t^2 r_1 r_2 \sin^2 \delta / 2}$$

.....(5)

ここで、

$$t^2 r_1 r_2 = K_1 \quad \dots (6)$$

$$r_1 r_2 (r^2 + t^2) \quad \dots (7)$$

とおき、第(3)式を使って δ を消去すると、

$$I_t = A A^* t^2 \frac{(1-K_2)^2 + 4K_2 \cdot \sin^2(2\pi L/\lambda)}{(1-K_1)^2 + 4K_1 \cdot \sin^2(2\pi L/\lambda)} \quad \dots (8)$$

となる。

この第(8)式は共振器長とCW光のパワー I_t との関係を表す式である。しかし、 I_t は L について半波長 $\lambda/2$ の周期を持つ関数である。そこで、 L を横軸に、 I_t を縦軸にとって両者の関係を表すと第3図のようになる。

この第3図の曲線51aを干渉曲線と呼ぶが、その極小点は共振器長 $\lambda/2$ の整数倍の点、すなわち、波長 λ の光がパルス光発振レーザ装置の共振器内で共振可能な状態である。波長 λ の光を外部からパルス光発振レーザ装置の共振器内に注入してインジェクションロックをかけるには、共振器長を、外部から注入した光の半波長の整数倍

にすればよい。このことは、次のように言い換えることができる。すなわち、波長 λ のCW光を注入した場合、センサ11で計測されるパワー I_t が第3図に示すように極小点の状態になるように共振器長を調節してやればインジェクションロックがかかる。

しかして、インジェクションロックをかけるには、 I_t が極小点に一致するように共振器長を制御すればよいが、実際には共振器長が所定の範囲内にあればインジェクションロックがかかることが知られている。ところで、パルス光発振レーザ装置で実際にパルス光を発振させた場合、共振器内の状態が変化し、その結果として、光路長が変り、干渉状態が変化するため（プラズマチャーム現象と呼ばれている）、実際にインジェクションロックがかかる領域は第4図の領域 α の部分である。逆に言えば、共振器長が第4図の領域 α の範囲内に収まるように制御してやればよい。

そのため、第5図に示すように、干渉曲線の1周期分51bのデータとインジェクションロック

がかかる領域のデータとを予め実験で計測した後、これを記憶させておき、そのデータとレーザ光パワーの測定結果を使用して共振器長の補正値を算出し、その算出値に従って共振器長を補正すればよい。

以上のことを第5図を用いてさらに詳しく説明する。第5図において、干渉曲線51bと、インジェクションロックがかかる中心点または領域とを前以て測り、データ記憶装置14に記憶させておく。ただし、干渉曲線の横軸は共振器長そのものである必要はない。すなわち、第5図に示す干渉曲線上で最終的に必要となる値は、後述するように、横軸2点間の距離であるので、横軸の値は長さの単位をもつものであれば何でも良い。横軸の値として特別な意味をもった値にする必要はない。

上述した干渉曲線のデータを使用して共振器長の補正値算出のための手順を述べれば、センサ11によってCW光パワーを測定し、そのセンサ出力をレーザ光パワー算出手段12に入力して

CW光パワーを求める。その大きさを P_1 とする。

次に、共振器長を微量の Δx_0 だけ増加または減少させ、再び上述したと同様にCW光パワーを求める。その大きさを P_2 とする。

これら P_1 と P_2 の大小関係と、データ記憶装置14に記憶されている干渉曲線データとから干渉曲線上のどの状態にあるかが判定できる。すなわち、第5図に示すように、CW光のパワー P_1 のみでは曲線上の点S上に相当するの、点S'上に相当するのかわけがつかない。従って、共振器長を Δx_0 (> 0) だけ増加させたときのCW光のパワーを測定し、そのパワーが P_1 より小ならば Δx_0 だけ増加させる直前の状態は点Sに相当し、 P_1 より大ならば Δx_0 だけ増加させる直前の状態は点S'に相当する。干渉曲線の位置が判明したならば、インジェクションロックのかかる領域の中心に状態を変化させるための共振器長の補正値を算出する。これは例えば、第5図でCW光のパワーを測定した結果が P_2' であった場合、 Δx_0 だけ増加させた後の干渉状態は、干

渉曲線上の点 S' に相当する。点 S' 状態よりインジェクションロックのかかる領域の中心に状態を変化させるには、第5図に示すとおり、共振器長は Δx_1 だけ減少させればよいので、補正值は $-\Delta x_1$ である。ただし、最初に干渉曲線上の位置を求める際に、CW光のパワー測定値が干渉曲線上の極大点の近傍にある場合には、共振器長の変化に対してCW光パワーの変化が小さいため、上述の方法で共振器長補正值を算出したとしても、誤差を多く含む可能性があるため、極大点近傍から速やかに脱出するため一律に一定量だけ共振器長を増加または減少させる。また、CW光のパワー測定値が干渉曲線上の極小点の近傍にある場合には、CW光パワーの大小関係のみで位置を特定することは困難であるため、この場合も、一律に一定量だけ共振器長を増加または減少させるのがよい。以上の計算を共振器長補正值算出手段13にて行った後、駆動手段21に補正值を送り、微調整機構22で共振器長を補正する。

以上の処理を繰返し行えば、常に共振器長をイ

ンジェクションロックがかかる状態にしておくことができるため、パルス光発振レーザ装置の出力パルス光を単一縦モードとすることができる。

第6図は上記実施例の具体的な構成を示すもので、特に、光反射機構6としてリアミラー7を、センサ11としてサーモパイル形のセンサを、レーザ光パワー算出手段12としてパワーメータ15を、共振器長補正值算出手段13およびデータ記憶手段14として電子計算機でなるレーザ制御装置100を、駆動手段21としてピエゾ制御装置23を、微調整機構22としてピエゾ素子24をそれぞれ用いたものである。

ここで、レーザ制御装置100は、パワーメータ15の演算結果を装置内部に取り込むデータ入力手段17と、このデータ入力手段17によって取り込まれたデータと、記憶装置19の記憶情報とに基づいて、ピエゾ素子24を駆動するための駆動量を演算する演算装置18と、その演算結果を外部に出力するデータ出力手段20とを備えている。

なお、連続光発振レーザ装置1とパルス光発振レーザ装置2は共に炭酸ガスレーザで、その波長は10.6 μ mである。

次に、この第6図に示した装置の詳しい動作を説明する。

センサ11に入射したCW光は様々な経路を得た複数の光が含まれているので、第(8)式を用いて説明したように干渉し合う。センサ11の出力はパワーメータ15に入力され、CW光のパワーを表すデータに変換される。

ここではセンサ11としてサーモパイル形のものを使用しており、このセンサからの電圧出力がレーザ光のパワーに対応する。また、パワーメータ15はセンサ11からの電圧値を増幅した後、レーザ光パワーを表す値に変換し、その値を液晶ディスプレイ上に表示するタイプのものを使用している。なお、パワーメータ15には、センサ11から入力した電圧値を線形的に増幅し、最小値0[V]、最大値1[V]のアナログ電圧として出力する出力端子が設けられている。この端子

は、レコーダ用出力端子として設けられているものであるが、ここではレーザ制御装置100へCW光パワーを送るための端子として使用している。

パワーメータ15によって0[V]～1[V]のアナログ電圧に変換されたCW光パワーは、内部で処理できるようにデータ入力手段17によってデジタル値に変換される。演算装置18は予め記憶装置19に格納されたプログラムに従ってデータを処理する。ここに言うデータの処理とは、単独データあるいは複数データ間の演算処理を行うことのみならず、データ入力手段17からのデータ入力、データ出力手段20へのデータ出力、記憶装置19に対するデータ入出力も含まれる。記憶装置19には、演算装置18の処理手順を指示するプログラムと、第7図に示すような干渉曲線およびインジェクションロックがかかる中心点Bを表すデータとが記憶されている。なお、第7図における I_0 は干渉曲線の極大値に近いある一点のCW光のパワーで、この実施例では干渉曲線

の極小点から8分の1波長分($\lambda/8$)ずれた所のCW光のパワーとした。また、 I_b はインジェクションロックのかかる領域の中心点BにおけるCW光パワーを表す。

この第7図に示した干渉曲線を表すデータは、第8図に示すように、 $x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(n), \dots, x(n+m)$ と、これらに対応するCW光のパワー $I(1), I(2), \dots, I(k), \dots, I(n), \dots, I(n+m)$ とを、第9図(a), (b)に示すような形で記憶装置19に記憶してある。すなわち、レーザ制御装置100では、干渉曲線を有限個の点の集合としてとらえ、それらの点による折れ線近似図形を演算処理時に使用する。なお、 $x(1) \sim x(n+m)$ は均等に分割する必要はない。また、記憶装置19には、 I_a, I_b, I_c, x_1 も記憶されていることは言うまでもない。これらのデータとこれに付帯するデータ(I_a, I_b, I_c, x_1)は、あらかじめ測定して得られたデータである。また、極小点におけるCW光のパワーを正確に計測することは困難なので、

リズムの主要部分は第11図乃至第14図に示す通りである。

次に、共振器長制御のアルゴリズム主要部分について説明する。

共振器長制御アルゴリズムは、第7図の干渉曲線上に示した I_a, I_b に基いて測定したCW光のパワーが I_a より大きいとき、 I_b より小さいとき、 I_b 以上で I_a 以下のときの3つに分けた。

第11図は測定したCW光パワーの大きさによりアルゴリズムを分割するための分岐判定の部分を示したフローチャートである。測定したCW光のパワー I_1 が I_a より大きいとき、 I_b 以上で I_a 以下のとき、 I_b より小さいときの3つに分岐している。 I_1 が I_b より小さいときに注意すべきこととして、測定時の誤差、雑音等で、干渉曲線の極小点におけるCW光パワー I_c よりも測定値 I_1 の方が小さい場合、干渉曲線を辿って I_1 に対応する共振器長(長さ)を求めることができなくなる。そのような不都合をなくするために、測定値 I_1 が I_b より小さいときは、さら

$I(1) \sim I(n+m)$ の最小値を I_c としている。

さて、センサ11とパワーメータ15とによって計測され、データ入力手段17によってレーザ制御装置100に取り込まれたCW光パワーのデータは、以下に述べるようなアルゴリズムによって処理される。

第10図は制御アルゴリズムのフローチャートを示したもので、基本的には共振器長制御アルゴリズムの主要部分を周期的に繰返し行うこととしている。ただし、パルス光発振レーザ装置を動作させて、パルスレーザ光を発振している最中はCW光にパルスが重畳するため、CW光のパワーの測定は行えないから制御の進行を一時中断する。また、パルスレーザ光発振直前の場合も、共振器長を変更することはインジェクションロックをかける上で好ましくないため、制御の進行を一時中断する。また、レーザ装置自体を停止させる場合には、もはや共振器長を制御する必要性はないので、制御アルゴリズムは終了する。第10図に示したフローチャートのうち、共振器長制御アルゴ

に、 I_1 と I_c とを比較し、もし、測定値 I_1 が I_c よりも小さいとすれば、強制的に測定値 I_1 を I_c としてしまう処理を付加している。

第12図は、CW光のパワーが I_a より大きい場合の処理内容を表したフローチャートである。この領域の干渉曲線は傾きが零に近く、すなわち、曲線自体が水平線に近く、また、目標とする共振器長の状態から遠く離脱した状態であるので、取り敢えず、この状態を脱するのがよく、一律に8分の1波長($\lambda/8$)だけ共振器長を動かす。ここでは8分の1波長($\lambda/8$)だけ共振器長を増加させることとしている。なお、8分の1波長($\lambda/8$)だけ共振器長を減少させることとしてもよい。

第13図は、CW光のパワーが I_b 以上 I_a 以下場合の処理内容を表したフローチャートである。この場合は、共振器長を変化させることに伴い、CW光のパワーがどう変化するかを観測し、現在の干渉状態が干渉曲線上のどこにあるのかを特定することにより、共振器の状態がインジェクシ

ンロックがかかる中心点の状態になるように共振器長補正量を求め、共振器長を補正する。以上の基本方針を基に、フローチャートを説明すれば、最初に測定したCW光のパワーを I_1 とする。共振器の状態が、干渉曲線の極小点を境にして短い側（以下、左側という）にあると仮定し、共振器長を変化させる基準としては共振器長の状態がインジェクションロックがかかる中心点の状態になるように変化量 Δx 、変化の方向を決めてやる。 Δx の大きさは、記憶装置19に記憶させた干渉曲線データ、インジェクションロックがかかる中心点Bを示すデータとを使用して、第15図に示す如く算出する。先の仮定、すなわち、共振器長が干渉曲線の極小点を境にして左側にあるという仮定があるため、共振器長は上記の変化量 Δx だけ増加させる。

次に、CW光のパワーを測定して I_2 とし、 I_1 と I_2 の大小関係を比べて先の仮定が正しいか否かを判定する。先の仮定が正しいと判断された場合には、共振器の状態は既に、インジェ

ンを境にして左側にあると仮定し、共振器長を変化させる。この共振器長を変化させる基準としては、共振器の状態がインジェクションロックがかかる中心点の状態になるように変化量 Δx 、変化の方向をきめてやる。 Δx の大きさは、記憶装置19に記憶させた干渉曲線データ、インジェクションロックがかかる中心点Bを表すデータとを使用して、第17図に示す如く算出する。先の仮定、すなわち、共振器の状態が干渉曲線の極小点を境にして左側にあるという仮定があるため、共振器長は前記の変化量 Δx だけ減少させる。先の仮定が正しい場合には、この時点でインジェクションロックがかかる中心点の状態の近傍にある筈である。先の仮定が正しくなかった場合、すなわち、CW光パワーを測定した時点での共振器の状態が、干渉曲線極小点を境にして右側にあるときは第14図のアルゴリズムを1回実行しただけでは共振器の状態がインジェクションロックのかかる中心点の状態にはならないが、共振器長を減少させるので、インジェクションロックがかかる中心点の状

クシオンロックがかかる中心点の状態の近傍にあるはずなので、何もしない。先の仮定が正しくなかったと判断された場合には、CW光のパワー I_1 を測定した時点での共振器の状態は、干渉曲線の極小点を境にして長い側（以下、右側という）にあったわけであるから、共振器の状態がインジェクションロックのかかる中心点の状態になるように変化量 $\Delta x'$ 、変化の方向を決めてやる。この $\Delta x'$ の大きさは、記憶装置19に記憶させた干渉曲線データ、インジェクションロックがかかる中心点Bを表すデータとを使用して、第16図に示す如く算出する。この場合は、共振器長を $\Delta x'$ だけ減少させる。なお、共振器長の変化量 Δx は、あらかじめ与えられた値 Δx_0 より小さい値にはしないものとする。というのは、共振器長の変化前後のCW光パワーの大小関係を確認にとらえる必要があるからである。

第14図は、CW光のパワーが I_0 より小さい場合の処理内容を表したフローチャートである。この場合は、共振器の状態が、干渉曲線の極小点

態に近付くのは明らかである。従って、第14図のアルゴリズムを繰返し実行すれば、必ずインジェクションロックがかかる中心点の状態の近傍に至る筈である。繰返す方法として、共振器長制御アルゴリズム主要部分内で繰返すようにすることも可能であるが、ここでは第10図に示すように、制御アルゴリズム主要部分を一度離れた後、再び、制御アルゴリズム主要部分を実行するという方法を取り、等価的に第14図のアルゴリズムを繰返すようにした。なお、第14図のアルゴリズム中の共振器長の変化量 Δx は、あらかじめ、与えられた値 $\Delta x_0'$ より小さい値にはしないものとする。すなわち、 Δx は $\Delta x_0'$ 以上になるような補正を行う。というのは、上記のような補正を行わないと、第17図では点B'付近にある場合は算出される Δx の大きさは非常に小さいものになってしまう、結果として点B'付近からなかなか脱出できなくなってしまうからである。

以上、第10図乃至第14図に示したアルゴリズムによって共振器長を増加、減少させるのであ

るが、実際に共振器を動かすのはピエゾ素子24である。このピエゾ素子24はピエゾ制御装置23により与えられる高電圧によって素子が伸縮する。ここでは、ピエゾ制御装置23は外部から0[V]以上10[V]以下のアナログ電圧を入力し、その指令電圧値に比例した高電圧を発生させてピエゾ素子24を伸縮させる。ここでは、ピエゾ素子24は与えられる高電圧に比例して伸縮すると見做している。すなわち、ピエゾ素子24はピエゾ制御装置23に与えられる0[V]～10[V]のアナログ電圧に比例して伸縮するものとして扱っている。

ところで、ピエゾ素子24は無限に伸縮するものではないので、その動作範囲には物理的な限界がある。第10図乃至第14図に示したアルゴリズムで算出された共振器長の変化量 Δx や、 $\Delta x'$ に対して、ピエゾ素子24は物理的な限界があるが故に、指令電圧値に応じきれない場合が生じる。例えば、ピエゾ素子が伸び切っている状態では、さらに伸ばす方向に動作させることは不

可能である。しかしながら、干渉曲線は実際は2分の1波長($\lambda/2$)の周期を持つため、共振器長を Δx だけ変化させた場合と、 $\Delta x + \lambda/2$ 、 $\Delta x + 2 \cdot \lambda/2$ 、 $\Delta x + 3 \cdot \lambda/2$ 、…、あるいは、 $\Delta x - \lambda/2$ 、 $\Delta x - 2 \cdot \lambda/2$ 、 $\Delta x - 3 \cdot \lambda/2$ 、…、だけ変化させた場合とは全く同じ効果を生み出す。その様子を第18図に示した。従って、共振器長の変化量を算出した後、その変化量を指令電圧値に変換しデータ出力手段20によりその指令電圧値をピエゾ制御装置23に与える際、ここでは、第19図に示すアルゴリズムを実行する。第10図乃至第14図に示すアルゴリズムには直接表れてはいないが、共振器長を増加または減少させる際には、共振器長変更処理として必ず第19図に示すアルゴリズムを実行する。第19図のアルゴリズムでは、共振器長の変化量を Δx とし、指令電圧値の変化量を ΔV としてその比例係数を k としている。 V_{min} は指令電圧値の下限、 V_{max} は指令電圧値の上限を表す。

$\Delta V_{\lambda/2}$ はピエゾ素子が2分の1波長($\lambda/2$)

だけ動作するのに必要な指令電圧値の変化量である。 V_n はデータ出力手段20より現在出力中の指令電圧値である。この V_n の値は、変更する度に記憶装置19に覚え込ませるようにして、実際にデータ出力手段20より出力している指令電圧値と1対1に対応しているものとする。なお、当然のことではあるが、 $V_{max} - V_{min}$ は $\Delta V_{\lambda/2}$ 以上確保されていなければならない。

次に、第19図のアルゴリズムを簡単に説明する。最初に、共振器長制御アルゴリズム主要部分によって求められた共振器長の変化量を指令電圧値変化量を読み換えて、次に出力すべき指令電圧値の候補 V_{n+1} を算出する。次に、 V_{n+1} が指令電圧値の上限または下限を逸脱しているか否かを調べ、逸脱している場合には、2分の1波長分($\lambda/2$)指令電圧値を減少または増加方向にシフトして、再度、上限と下限の逸脱を調べる。 $V_{max} - V_{min}$ は $\Delta V_{\lambda/2}$ 以上あるので、 V_{n+1} は必ず上下限範囲を逸脱しない値に落ち着く筈である。 V_{n+1} が上下限範囲を逸脱しない値に落ち

着いたら、 V_{n+1} の電圧値を指令電圧値としてデータ出力手段20より出力し、新たに V_{n+1} を V_n として記憶しておく。

しかして、第10図乃至第14図および第19図に記載したアルゴリズムに従ってCW光のパワーを読み込み、計算し、指令電圧値を出力し、ピエゾ素子を動かすことが出来る。

以上のアルゴリズムを繰返し実行することにより、インジェクションロックがかかる最適の共振器長の補正値が時々刻々得られる。

かくして、この実施例によれば、単一縦モードのバルスレーザ光を得るために、共振器長を、自動的に最適な状態にすることが可能となる。

共振器長の状態は、短時間で変化してしまうため、人手を介在させたとしても、連続的に近い条件で単一縦モードのバルスレーザ光を得ることは困難であるが、この実施例によれば、殆ど連続的に単一縦モードのバルスレーザ光を得ることが可能になる。

また、共振器長の状態が大幅に変化し、干渉曲

線とインジェクションロックがかからない中心点との関係が変化したり、干渉曲線自体が変化したとしても、単にレーザ制御装置内の干渉曲線データとインジェクションロックがかかる中心点を現すデータとを交換すればよく、大きな障害とはならない。

なお、上述した実施例では、ピエゾ素子24はリアミラー7に取り付けてあるが、出力ミラー4にピエゾ素子を取り付けても全く同じように共振器長を変化させることができる。また、出力ミラー4およびリアミラー7の両方にピエゾ素子を取付けることも可能である。

微調整機構22としてピエゾ素子を複数組み合わせさせて長ストロークでの駆動を可能にしたもの、あるいは、モータを利用したもの等もピエゾ素子並の特性が得られるものであるならばそのいずれを使用してもよい。

さらにまた、光反射機構6として、上記実施例ではミラーを使用したものが、この代わりに反射形回折格子を使用することもできる。

(a)の曲線は第22図(b)の曲線に変換され、実施例で述べた考え方がそのまま適用できる。

また、センサ11には、サーモバイル形のものを使用したものが、サーモバイル以外でも光のパワー測定が可能なものならば使用することができる。

〔発明の効果〕

以上の説明によって明らかなように、この発明によれば、共振器長を時々刻々制御してインジェクションロックをかけるための条件を成立させることが可能となるため、熱や外部からの振動等で共振器長が変化したとしても、共振器長を修正して容易に単一縦モードのバルスレーザ光を得ることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の一実施例の概略構成を示すブロック図、第2図は同実施例の主要素のモデル化した構成説明図、第3図乃至第5図は同実施例の動作を説明するために共振器長と光パワーとの関係を示した線図、第6図はこの発明の一実施例

の一方、光学系の配置については、第20図や第21図に示す配置も可能である。すなわち、共振器長Lとセンサ11で計測されるCW光のパワー I_L とは、CW光の半波長 $\lambda/2$ の周期を持つ関数となる。ただし、光学系の配置によっては、第3図または第4図に示した曲線ではなく、第22図(a)に示すような曲線になる場合がある。すなわち、共振器長がCW光の半波長($\lambda/2$)の整数倍になるところで極大となり、その近傍にインジェクションロックがかかる領域 α が存在する場合がある。この場合でも、計測されたCW光のパワー I_L に適当な変換を行えば、第4図の場合と全く同等に扱うことができる。例えば、

$$I_L' = -I_L + I_{const} \quad \dots (9)$$

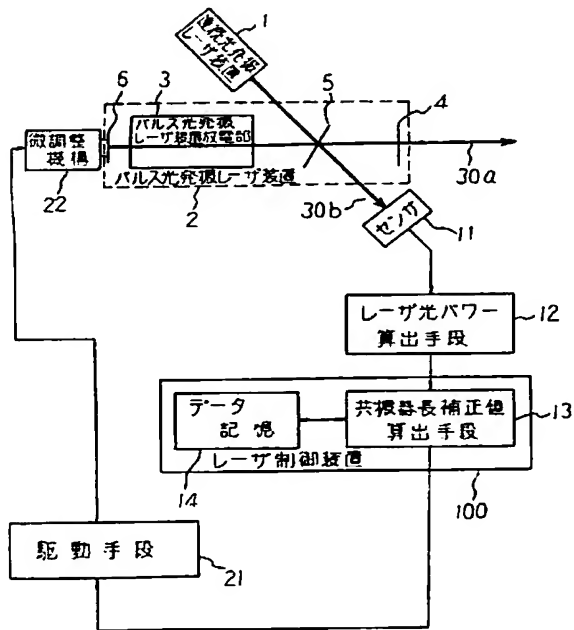
なる変換を行えばよい。この(9)式の意味するところは、CW光のパワー I_L に対して $-I_L$ を考える。第22図(a)の曲線について、横軸を対象な曲線を考えたことと同じである。次に、

I_{const} なる定数値だけ上方向に平行移動する。

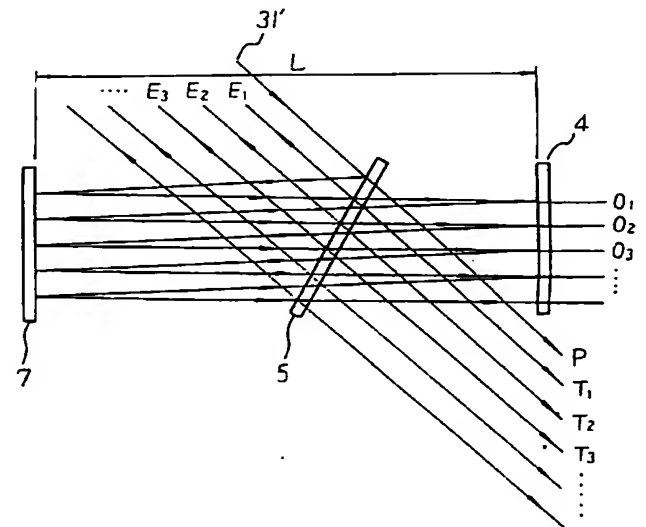
I_{const} の値を適当な大きさに選べば、第22図

の具体的な構成を示すブロック図、第7図、第8図、および第15図乃至第18図は同実施例の動作を説明するために共振器長と光パワーとの関係を示した線図、第9図(a)、(b)は同実施例の主要素のデータ格納状態を示す説明図、第10図乃至第14図、および第19図は同実施例の動作を説明するためのフローチャート、第20図は本発明の他の実施例の具体構成を示す図、第21図は本発明のもう一つ他の実施例の具体構成を示す図、第22図(a)、(b)はこれら他の実施例の動作を説明するために共振器長と光パワーとの関係を示した線図、第23図は従来のレーザ装置の具体的な構成を示すブロック図である。

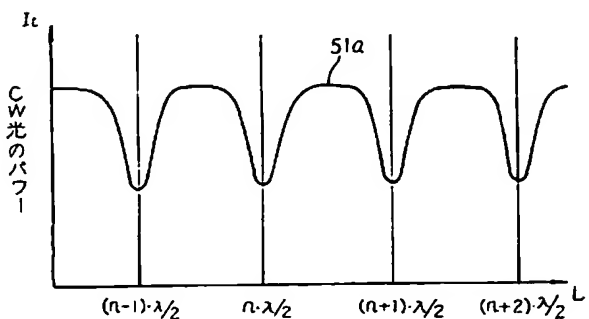
1…連続光発振レーザ装置、2…バルス光発振レーザ装置、3…バルス光発振レーザ装置放電部、4…出力ミラー、5…ビームスプリック、6…光反射機構、11…センサ、12…レーザ光パワー算出手段、13…共振器長補正值算出手段、14…データ記憶装置、21…駆動手段、22…微調整機構、100…レーザ制御装置。



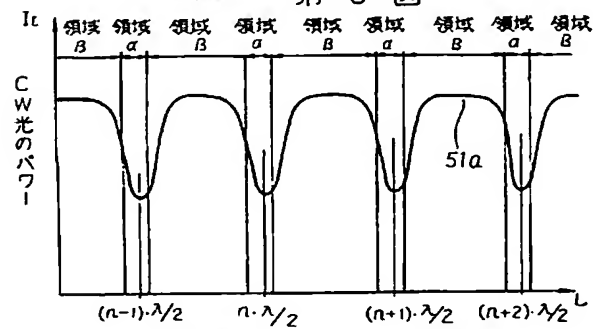
第 1 図



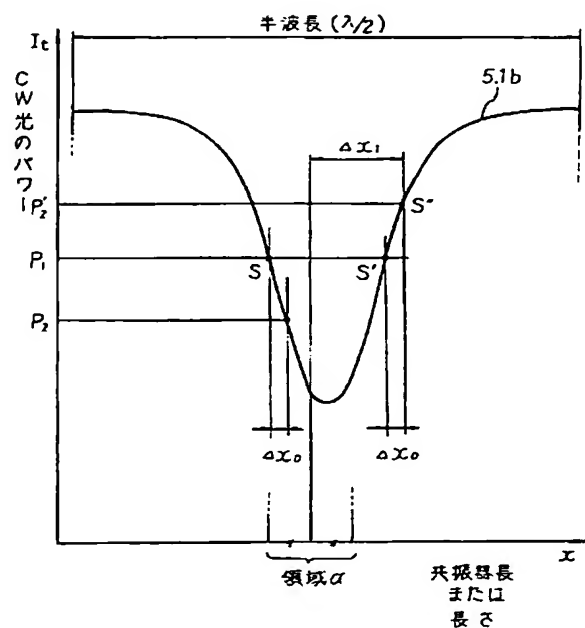
第 2 図



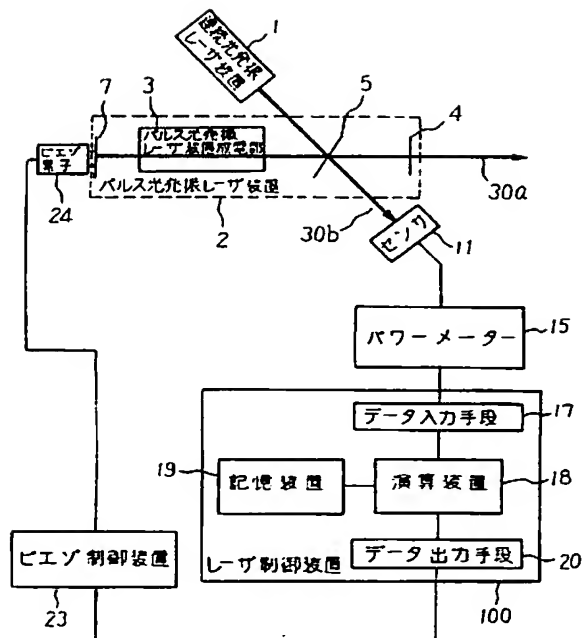
第 3 回



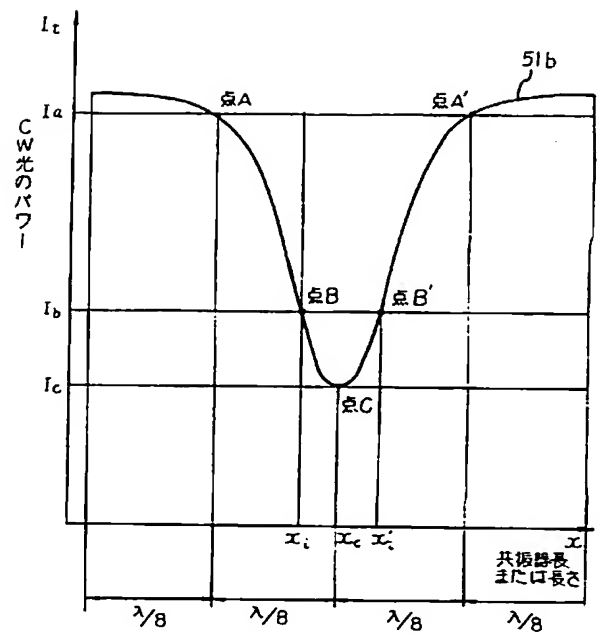
第 4 図



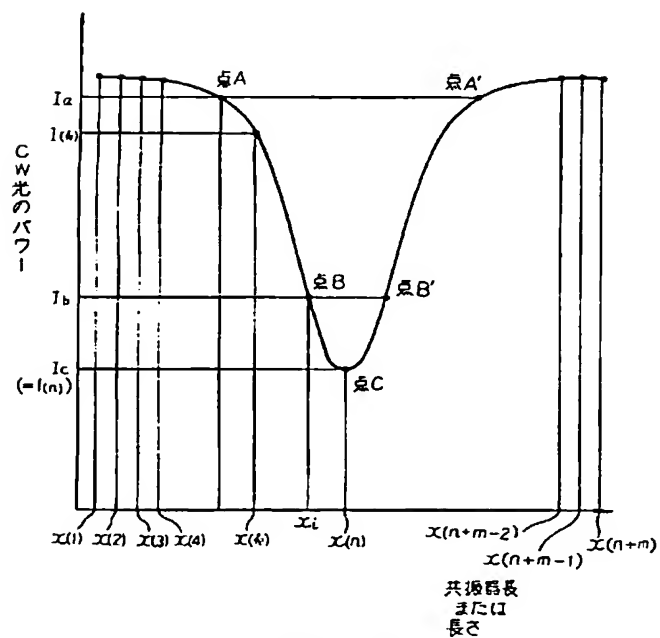
第 5 図



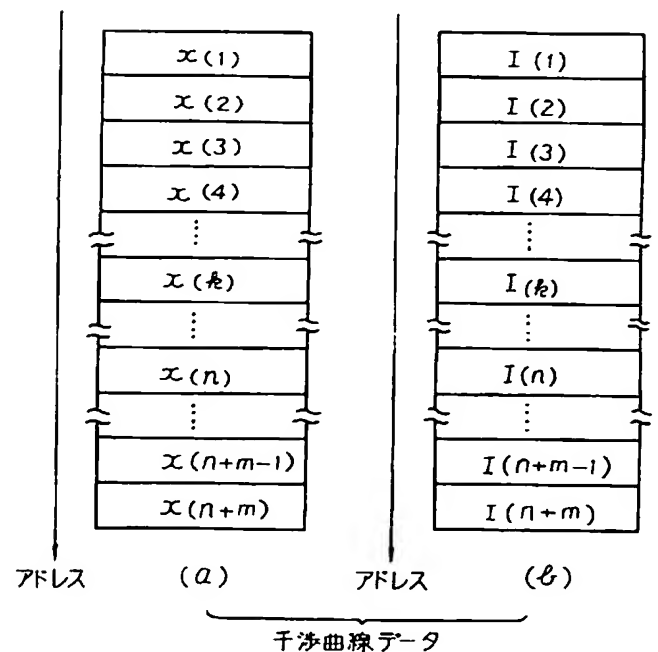
第 6 図



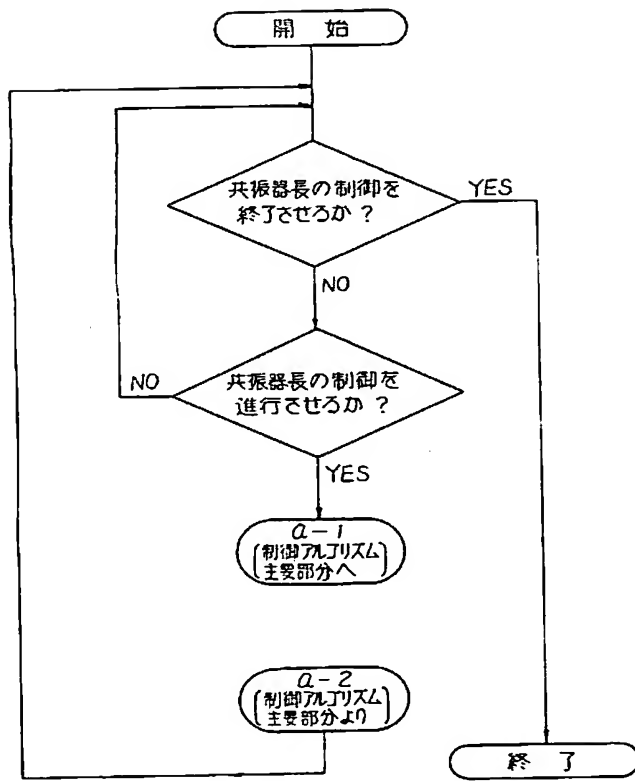
第 7 図



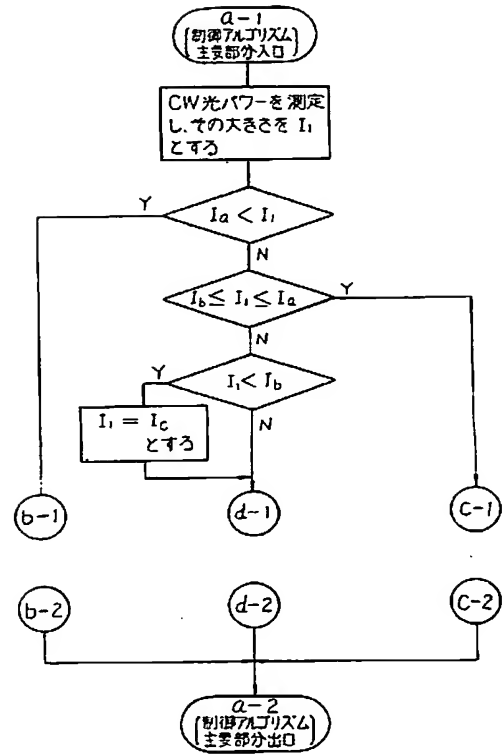
第 8 文



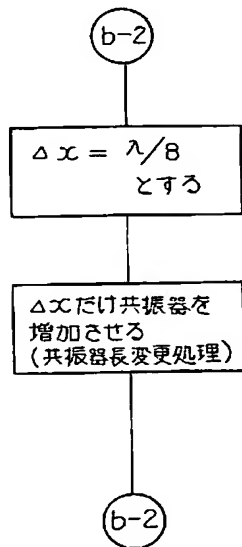
第 9 圖



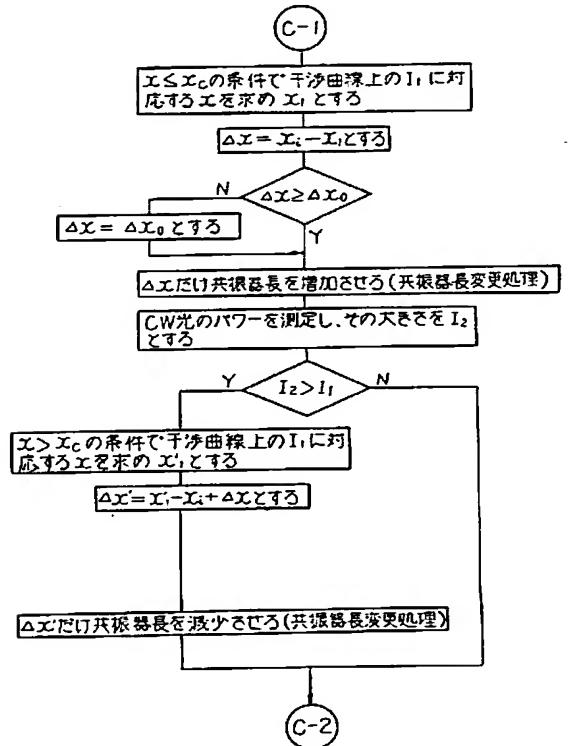
第 10 図



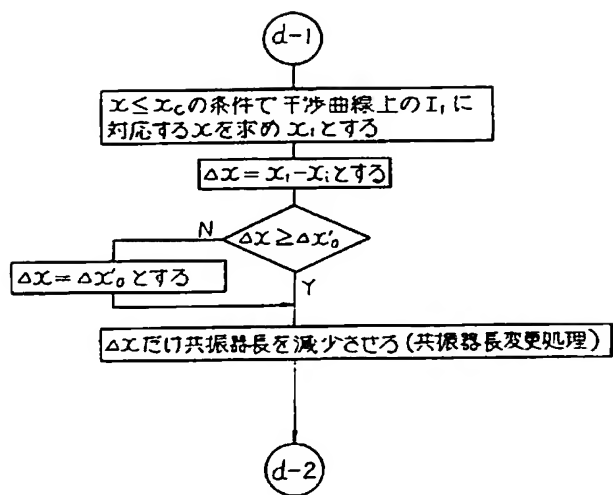
第 11 図



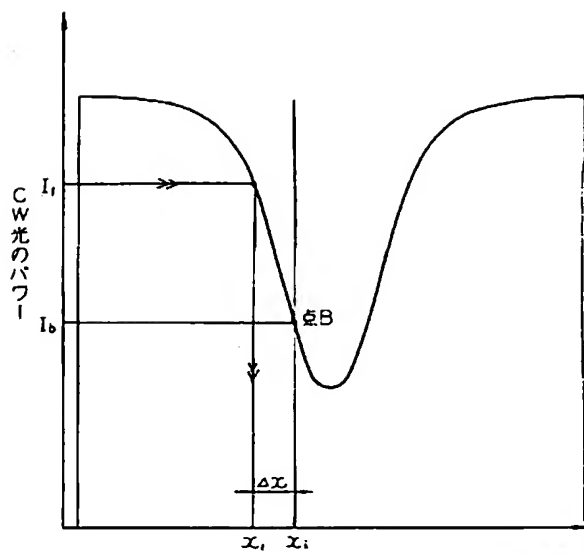
第 12 図



第 13 図

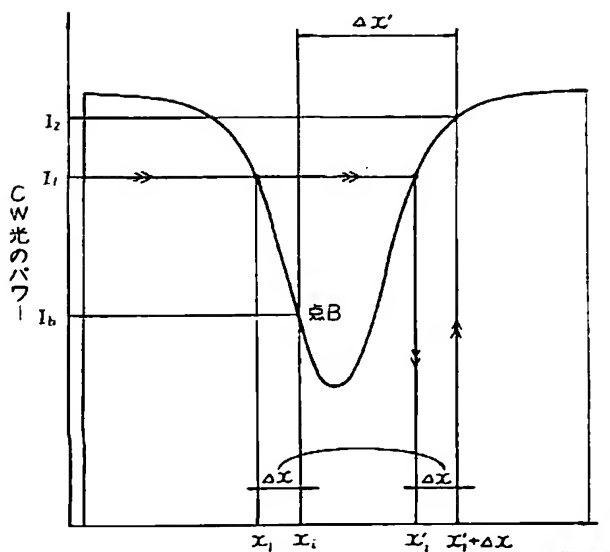


第 14 図



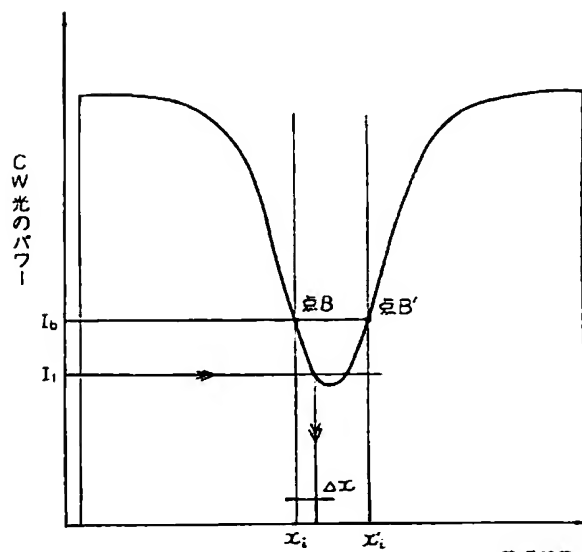
共振器長
または
長さ

第 15 図



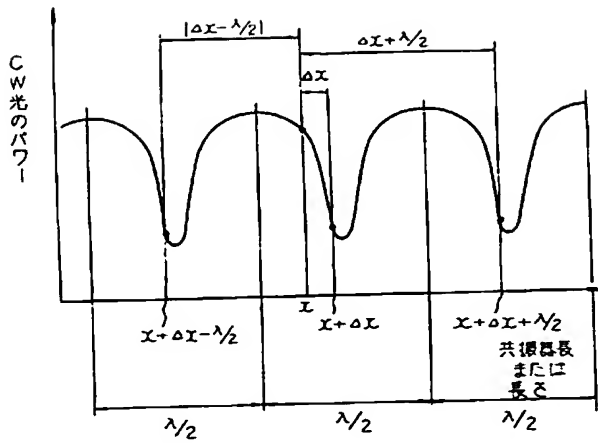
共振器長
または
長さ

第 16 図

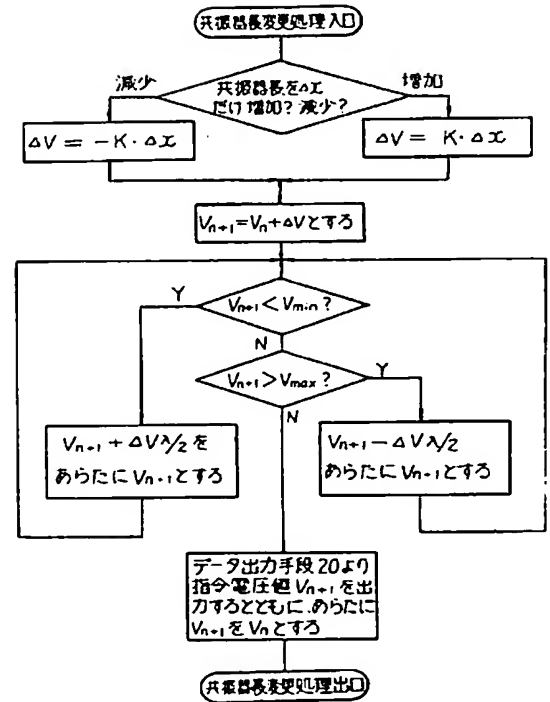


共振器長
または
長さ

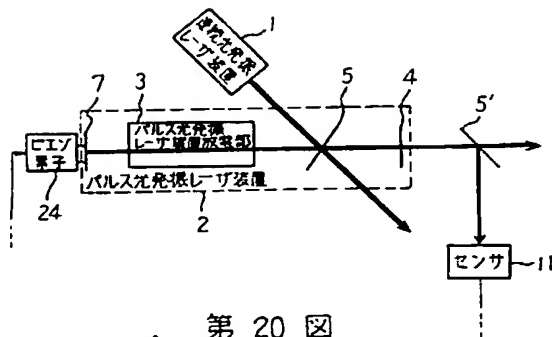
第 17 図



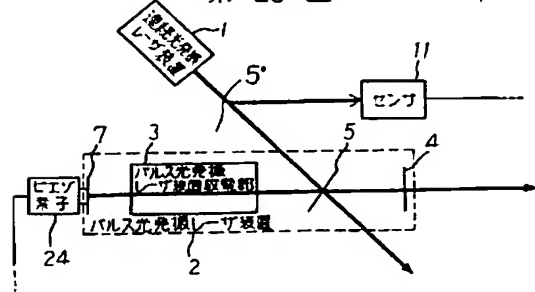
第 18 図



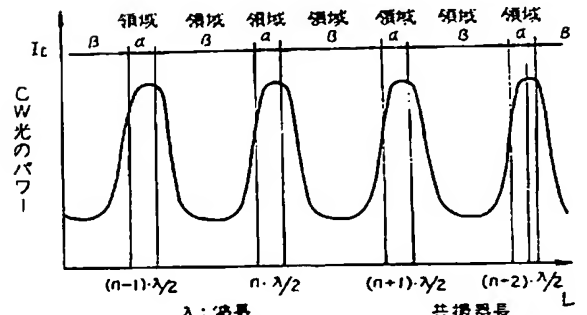
第 19 図



第 20 図

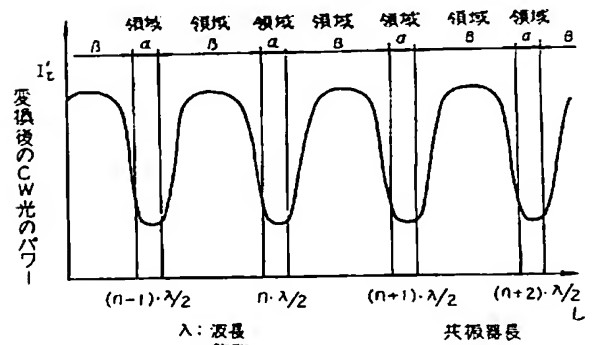


第 21 図



λ: 波長
n: 整数

(a)



λ: 波長
n: 整数

(b)

第 22 図

